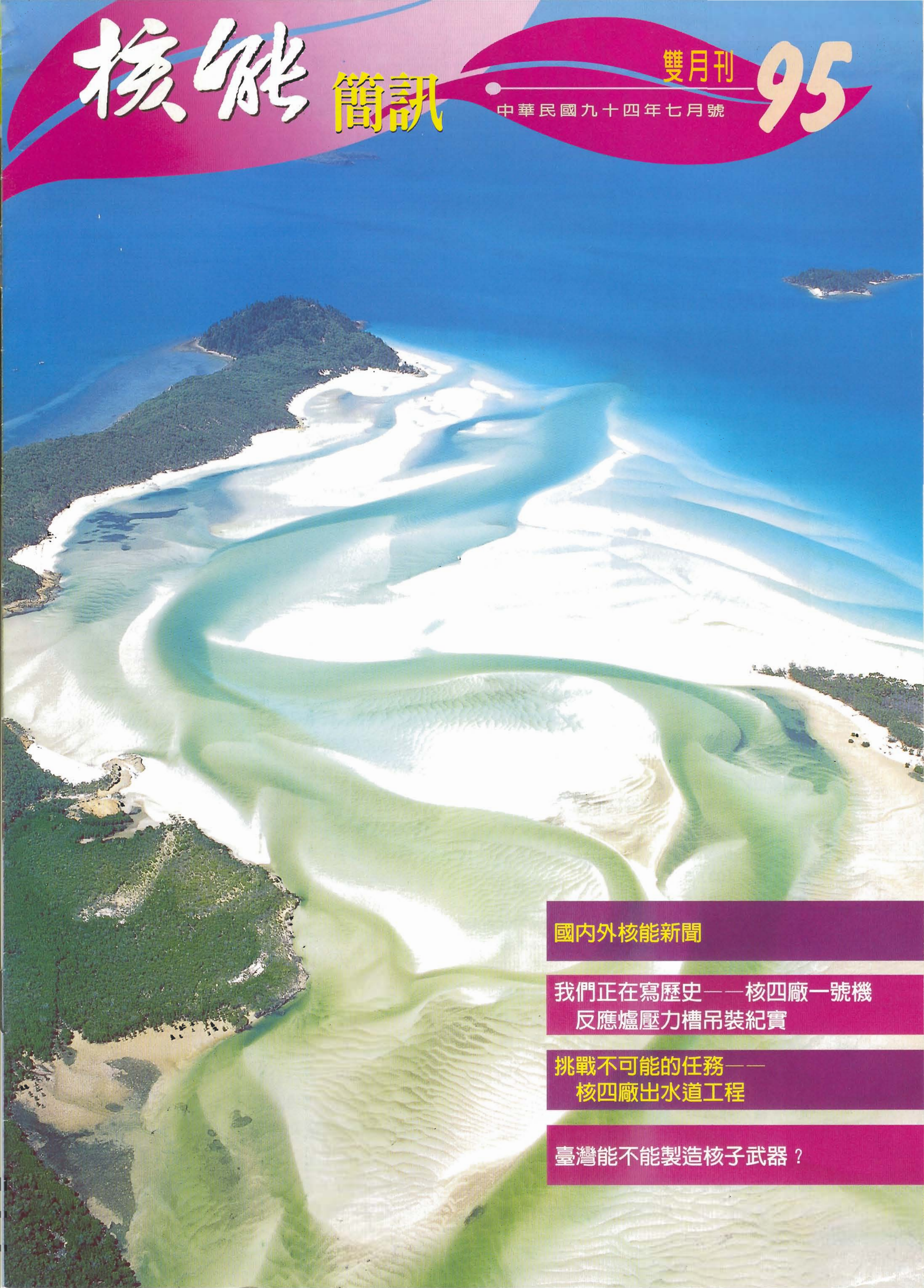
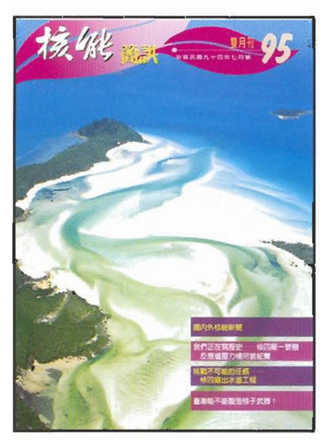


核能簡訊
雙月刊 95
中華民國九十四年七月號
國內外核能新聞
我們正在寫歷史——核四廠一號機反應爐壓力槽吊裝紀實
挑戰不可能的任務——核四廠出水道工程
臺灣能不能製造核子武器？

95 核能簡訊 民國九十四年七月二十日出刊
核能簡訊雙月刊 CONTENTS July



出版單位／中華民國核能學會
財團法人核能資訊中心
地　址／新竹市光復路二段一○一號
研發大樓208室
電　話／(03) 5711808
傳　真／(03) 5725461
網　址／http://www.ess.nthu.edu.tw/~nicenter
E-mail／nic@nicenter.twmail.net
發行人／朱鐵吉

主　編／喻冀平
文　編／鍾玉娟、翁明琪
美　編／孫秀琴
編印者／信誠廣告事業有限公司
地　址／台北市興安街100號3樓之5
行政院新聞局出版事業登記證．局版臺誌字第851號

編者的話

歷經停建、復工、賠償等風波之後，核四廠1號機反應爐壓力槽終於在今年的3月20日完成安裝定位，達成了核四建廠第一個重要里程碑。由於反應爐重達810噸，專用吊架重量為24噸，總重量高達834噸，是我國有史以來最重、最龐大的核反應器。其運輸及吊裝是台灣電力公司近年來的重大工程。從3月11日進行試吊作業開始，到拴緊最後一根螺栓，足足花費了10天的時間，動員的人力、物力難以計數。如此艱鉅的任務在工作人員追求完美、毫不苟且的精神之下完成，也讓核四廠向商業運轉邁進了一大步。

另一方面，核四廠的潛盾式冷卻水排水道也已於民國93年9月18日正式貫通，耗資新台幣33億6500萬元的重大工程接近完工。為兼顧核能發電的便利性與環境保護的需求，核四廠在最初設計時即採用潛盾式工法施築循環冷卻水出水道。施工期間，工程團隊不僅需要克服多變、破碎且軟弱的地質，還要在海上與東北季風、颱風等惡劣的海象搏鬥，歷經一年半的工期終於完成。這項包含陸上、地下、海上及海下的艱鉅工程，同時也創下國內工程界多項第一的紀錄。讓我們為這群默默辛苦付出的「地下工作人員」致上最熱情的掌聲。

沉寂已久的「台灣能不能製造核子武器？」的話題，前一陣子又在報端重新延燒。林建昌博士以核能專家的身份，一一剖析製作核子武器需要哪些條件，而台灣現有的條件能否符合。至於結論如何，還請讀者細看全文。



國內新聞 News

科學園區及工業區有機溶劑及廢水排放問題，經常引發環保抗爭，原子能委員會核能研究所昨日宣布研發高效率ＳＰＯ降解劑及處理設備，30分鐘內就可以把各種有機廢溶劑及廢水所含的有機物質分解破壞九成以上，成為業界解決廢水排放的新利器。

(94.05.31中國時報)

行政院將在20日召開全國能源會議，清華大學原子科學院憂心政府為滿足少數人「反核信仰」，放棄核能發電，昨天將3000份說帖寄給立委與媒體，希望喚起並重視核能問題。

(94.06.17.聯合報)

去年12月南亞大地震引起大海嘯造成數十萬人死亡，本省3座核能電廠及火力電廠都建在海邊，大海嘯來襲怎麼辦？台電核三廠昨日舉辦全國首次大地震大海嘯來襲應變演練及油槽火災消防操演，以訓練有關人員應變能力。

(94.06.17中國時報)

全國能源會議明天登場，環保署長張國龍接受專訪時表示，他的非核立場沒有改變，且認為核四已由單純的能源、環保問題延伸為社會、政治問題。政治問題就應由政治手段解決，將來核四運轉與否，應由人民以公投決定。

(94.06.19中國時報)

全國能源會議在環保團體抗議聲中，閉幕了。面對後京都時期的溫室氣體減量危機、能源政策中，非核家園的「結」未解，也使得各部門因應未來減量，面臨嚴峻挑戰。這次會議，除了達成漲電價的共識外，核能被公認是因應溫室氣體減量的方案之一，但受制政府落實非核家園的政策前提，能源政策檢討時，根本無法跳脫非核家園的束縛。

非核家園無法跳脫，緊接著一連串的問題，包括燃煤可能大量增加，溫室氣體排放控制困難，能源穩定受挑戰，而廠商面對能源部門無法肩負減量責任下，勢必面臨更大的減量要求，結果是台灣不是「溫室家園」，要不就被迫出走。這些，在非核的「結」無解下，都讓台灣在因應京都議定書的減量下窘態百出。

經濟部長何美玥就坦言，7年前全國能源會議訂定的減量目標，「台灣做不到」，歸結做不到的原因，還是在於能源政策。她說，當年之所以訂出2020年減量目標回歸2000年，主要是以核能當替代能源。

但這項前提已經改變了。核能被削減，核能占國內能源配比未來將由當初規畫的13%~15%降至5%。替代能源，改由再生能源或煤、油及天然氣等火力發電。但問題是，再生能源還未被普遍運用前，燃氣、燃油，在高價能源時代下，廠商成本大增，減量還未做，已壓垮廠商競爭力。

這也是為什麼這次全國能源會議，被迫提高燒煤。但煤卻是二氧化碳主要排放源。以核能為替代能源的前提條件沒有了，面對國際減量趨勢，核能還被迫削減，產生的一連串問題，就是電價調漲，廠商也因為能源政策彈性空間有限，被迫付出更高的減量代價。煤的能源配比提高了，其實，也透露台灣在因應京都議定書減量，有走回頭路的無奈。

但非核家園無解，這些問題，就像骨牌效應。以這次全國能源會議達成電價調漲共識，固然是為反映燃料價格大漲，另方面，也是最大原因，政府為落實非核家園，不得不捨棄便宜的核能，藉此推廣再生能源。在全國能源會議場上，耐人尋味的場景像是再生能源利益團體與環保團體唱和。可以想想，非核，其



實也要面臨未來電價有很大部分是政策補貼再生能源，由全民買單。

究竟要走向非核家園？還是溫室氣體家園？這項攸關國家整體利益，恐怕是政府落實非核家園難以承受之重。

(94.06.23經濟日報)

國外新聞 News

◎ 新反應器發展協議

紐斯達（NuStart）能源發展有限公司已經與美國能源部簽署一項協議，分攤估計約為5.2億美元的兩部新反應器全部工程設計費用。彼此均期待參與建造新核能電廠主要步驟的結合申請建造許可與運轉執照(COL)。紐斯達核電聯盟是由星座能源公司(Constellation Energy)、杜克能源公司(Duke Energy)、法國電力國際北美公司(EdF International)、恩特基核能公司(Entergy Nuclear)、愛塞隆電力公司(Exelon Generation)、佛羅里達電力公司(Florida Power & Light)、進步能源公司(Progress Energy)、南方公司(Southern Co.)以及田納西河谷管理局(Tennessee Valley Authority)等9家核能公司與通用電氣能源公司(GE Energy)和西屋公司(Westinghouse)等反應器供應商所共同組成。紐斯達分別與GE以及西屋公司對其經濟簡化型沸水式反應器(Economic Simplified BWR, ESBWR)以及AP1000型反應器細部工程與申請執照工作訂有協議。紐斯達預期在10月前選擇2座電廠廠址，分別有上述的反應器設計。預訂於2008年開始COL申請，並於2010年取得執照。

由多明尼恩(Dominion)領導的電力聯盟為其在北安娜(North Anna)廠址的COL計畫，於4月時與能源部(DOE)簽署了約4.4億美元的協議。此聯盟成員還包括貝泰公司(Bechtel)與GE公司。此部分是以GE的ESBWR技術，而其研發費用則與紐斯達共同分攤。

杜克能源公司與星座能源公司同時也呼籲核能管制委員會加快批准法馬通先進核能公司(Framatome ANP)的歐洲壓水式反應器(EPR)，以提供美國市場多一種選擇。

◎ 美國議院通過能源議案

美國衆議院以249對183票通過能源立法。此議案更新延長普萊思・安德生條例(Price-Anderson Act)為20年（原為10年），包括核能工業保險金的規定，提供31億美元給能源部在愛達荷國家實驗室建立一座製氫的進步型反應器，以及大約30億美元以因應未來5年的核能研究計畫。另外此議案更新了核能設施除役基金的稅款處理。它也鼓勵液化天然氣進口站的設立，並且允許在阿拉斯加野生動物保護區內鑽探石油。此議案得到布希總統的強烈支持，而有關石油部分在參議院內則面臨了一些對立的意見。

◎ 美國增加其核能投資？

美國總統在一次商業會議上的演說，要求應以更多的核能為開端，以降低美國對外國能源的依賴。他要求能源部起草修訂法律，以降低核能電廠申請執照的不確定性，並且為先

建造的前4座新電廠提供聯邦風險保險。「為了美國未來能源的安全，必須有更多的核能。」他也呼籲為車輛發展燃料電池而努力，指明以核反應器製氫為優先，並且以19億美元稅額支持，做為對風力發電的鼓勵。最後，他承諾國際合作「以發展安全、乾淨的先進核能技術，並且防止擴散。有這些技術，有更多的核能，我們便能紓解對環境的壓力，並且降低全球對石化燃料的需求。」

◎美國對用過燃料貯存的報告

美國國家科學院對反應器用過燃料的中期貯存安全報告公開版本，在討論數月後終於發行了。其內容提及用過燃料貯存於水中，在水乾涸的情況下，有可能導致燃料護套高溫燃燒的風險，但是恐怖分子以用過核燃料作為「髒彈」(含有放射性物質的炸彈)的可能性非常低。報告中強烈支持以乾式桶裝貯存的安全性。核能管制委員會和工業界認為此份報告誇大了風險，而且也沒有完全考慮到自2001年起實施的安全措施。

實際上，美國64座核能發電廠中大約有25座已將其用過核燃料自貯存池中移至廠址上的乾式貯存桶內貯存。此舉主要是由於政府沒有能在1998年開始處置放射性廢棄物，使得貯存池空間不夠所致。

◎德國反應器關閉

德國電力公司EnBW由於政府開始逐步淘汰核能的政策，日前關閉其在歐碧翰(Obrigheim)已經運轉37年的核反應器。這部發電量340百萬瓦電的展示用壓水式反應器，是德國運轉中最古老和最小的機組，如同2002年時宣布，是政策下首座關閉的電廠(2003年Stade核能電廠是由於經濟原因而關閉)。預計至2020止的除役約需花費5億歐元。如果目前的政策持續到下一次聯邦選舉，預期有好幾座大型的核能電廠會被迫關閉，其結果將會產生顯著的供應問題，引起了工業消費者的關切。由於石化燃料價格的上漲，德國的電力批發價格在過去12 個月中已經上升超過1/3，而大型電廠的關閉將加重此趨勢。然而核能設施仍在為選舉後在政策方面變化作準備，初步先將全部17座反應器壽命延至40 年(目前為32年)，之後再仿照美國由個別電廠分別尋求延壽至60年。

◎英國的核能除役管理局正式登陸

隸屬英國核燃料公司(BNFL)的英國核能組(BNG)自4月1日起從大多數英國核能廠址的擁有者兼營運者轉變成為核能徐役管理局(NDA)的經理與訂約者，以及新的擁有者。NDA是政府在2004年的能源法下設立的，主要是管理並清潔英國在1940至60年代建造位於20個廠址的國營核能電廠，包括39部反應器、5座核燃料再處理廠以及其他燃料循環與研究設施。其年度預算為22億英鎊，是來自這些營運收入的一半。同時BNG被BNFL分離出來，處理在歐洲及美國運轉的除役與清潔的業務，但其主要業務還是在英國境內。目前它是在與DNA的2至4年的合約下營運。

◎英國放射性廢棄物政策緩慢行進

由英國政府任命的放射性廢棄物管理委員會(CoRWM)已經發布英國放射性廢棄物長期管理的選擇名單。這些選擇顯然是延續近年來的努力，主要為深地層處置。

(以上新聞譯自澳洲UIC。因本刊篇幅有限，部分國外新聞將在網站中刊登，網址：http://www.ess.nthu.edu.tw/~nicenter)



我們正在寫歷史——核四廠一號機反應爐壓力槽吊裝紀實

■ 梁天瑞

走過停建又復建的風雨飄搖，走過數年來國內政經低盪的漩渦，核四廠1號機反應爐壓力槽（RPV）終於在今年（2005）的3月20日完成安裝定位，達成了核四建廠第一個重要里程碑，也見證了核能在台灣復興的第一道曙光。

核四廠的反應爐壓力槽本體重達810噸（不含爐內組件），專用吊架重量爲24噸，故總重量達834噸，是我國有史以來最重、最龐大的反應爐壓力槽。其運輸及吊裝爲台灣電力公司近年來的重大工程，也是核四廠建廠工程的重要里程碑。

這項劃時代的任務由龍門施工處負責，實際吊裝則由中鼎工程公司負責。爲完成此全國矚目的重大指標性工作，施工處各相關部門與承包商從過年前就開始加班趕工，把握時間分秒必爭，當大家都輕鬆享受農曆新春假期時，這些可敬的夥伴，卻毅然犧牲與家人團聚時光，日以繼夜、不眠不休，只爲完成此一重大任務。

吊裝功臣——荷蘭來的長毛象

負責吊運反應器的荷蘭籍「長毛象」超級吊車，規模更居全國之冠。目前國內並無吊運千噸級設備技術，因此中鼎公司透過陸海公司（Sea And Land Corporation）委請荷蘭籍公司MAMMOET執行這項艱鉅任務。該公司果然是經驗豐富，從設備動員、基礎整地到完成千噸級吊車組裝，竟在短短不到一個月的時間完成。

這次負責吊裝的MSG-50吊車，英文名稱爲Mammoet Sliding Gantry。從正面仰視這部龐然巨物還眞滑稽，與這種萬年前曾橫行一時的巨獸十分神似。兩支長長的主吊桿，像極了長毛象那兩支巨大彎曲的象牙。

這部長毛象雖然體型龐大，但各部分組件卻可拆解成段，以標準貨櫃裝載，再運送至工地重新組裝，這項模組化的設計十分理想，只要貨櫃車能通行之處，MSG-50吊車就可全球趴趴走，到任何地方工作。

「長毛象」模組分爲升降裝置、後部桅桿、主吊桿、掛勾、防過仰裝置、配重塔、底部架構與滑行軌道、水平桅桿及吊車基座等部分。

承載吊車重量的基座，呈環形結構，由48片分載板分擔吊運時的總重量，可避免地面因局部受力過大而塌陷或傾斜。



圖1.反應爐壓力槽已順利運抵吊裝區


圖2.反應爐壓力槽逐漸豎直嘍

主吊桿依本次吊運距離51公尺吊運仰角40.4度之要求，而連接成67公尺長的旋臂，恰可不偏不倚將反應爐壓力槽吊入反應爐基座內，且在上述距離及仰角下，最大吊運重量達872噸。

兩支後部桅桿各配掛一座1,300噸重的配重塔，使總配重量達2,600噸，穩固地拉住工作中的主吊桿與被吊重物，確保整個吊運過程中吊車的穩定度。升降裝置藉著油壓機構與特殊設計，負責控制主吊桿的仰角與鋼索的升降。底部架構的油壓機構與滑行軌道配合，可以控制吊車的旋轉。

MSG-50吊車與自走式油壓板車檢整完成後，施工處又於3月10日完成了運輸道路補強、反應爐壓力槽專用吊架組裝及來賓觀禮台修整等配合工作，才算完成整個準備工作，迎接未來吊裝重任。

吊裝反應爐壓力槽可千萬馬虎不得，在正式吊裝之前，每個步驟都得實地試驗，才能確保整個工作順利圓滿。

一、試吊作業

試吊作業按原定計畫在3月11日進行，並從今天開始管制人車作業，沒有配掛「RPV安裝工作人員」黃色臂章者，一律謝絕進入管制區內，同時進行吊車工安檢查。

上午9:00，我們以18只、總重858噸的20呎試重貨櫃堆疊在試重框架內，用來模擬反應爐壓力槽實際重量。

上午10:00，工檢員到場，開始試吊作業。MSG-50吊車的升降裝置將吊昇速度控制在每小時5公尺，底部架構與滑行軌道將旋轉速度控制在每小時90度，所以整個吊昇及旋轉過程足足花了4小時，才把試重組轉到定位。雖然動作緩慢，但卻讓每個工作人員對未來的實際吊運放心不少。

下午14:00，試重組轉到反應爐壓力槽基座上空後，開始緩緩降下，又花了數小時才把試重組送到反應爐穴正上方。

下午18:00，試重組停留在反應爐壓力槽穴正上方，開始做停滯測試，停滯時間爲30分鐘。

晚間19:00，完成測試後，再緩緩開始吊回，約在20:30順利完成工檢及試吊作業。

二、試運作業

3月13日上午9:30，工作人員利用MSG-50吊車把858噸的配重組吊上自走式油壓板車，並調整配重後，從現場緩緩開往倉庫，模擬反應器運輸作業。

上午10:00，模擬進倉庫路徑，10:05由倉庫開出，10:45板車再把試重貨櫃載回到工地現場，順利完成試運作業。

然而，當吊運準備工作一切就緒時，卻傳出工檢合格證書無法如期發出的消息，使得原訂3月14日運出反應爐壓力槽及3月18日吊裝反應爐壓力槽的計畫，受到嚴重影響，一時所有工作人員的心情也開始起伏不安。



經過3天漫長等待後，工檢合格證書終於送達，這時整個工地又好像開始動起來了。接下來的反應爐壓力槽運輸、豎直與吊裝陸續在3月17、18、20日完成。

三、反應爐壓力槽運輸作業

3月17日上午8:30，自走式油壓板車緩緩頂起反應爐壓力槽。

上午8:50，反應爐壓力槽開始由倉庫運出，約9:16反應爐壓力槽到達轉彎處。

上午9:53，板車已將反應爐壓力槽載到MSG-50吊車吊桿下方的待吊區。此時開始進行反應爐壓力槽專用吊架與吊車吊鉤的連接作業。

下午15:00，吊架與吊鉤連接完成。

接下來，工作人員還需爲明天的反應爐壓力槽豎直作準備，拆除爐腹支架的螺帽及裙板旋轉支架的螺栓，放置墊塊…，天色漸漸暗了。

四、豎直反應爐壓力槽


圖3.完全豎直的反應爐壓力槽


圖4.反應爐壓力槽就定位

3月18日，儘管天氣陰暗，反應爐壓力槽吊裝作業仍按既定計畫進行。

由於昨天準備工作相當充分，所以不到上午8:00，反應爐壓力槽前端已經開始慢慢拉起了。雖然吊運機具相當精密可靠，這項工作算是難度比較高的，在MSG-50吊車拉起反應爐壓力槽前端的同時，自走式板車操作人員還需微調板車的移動以配合不斷豎直的反應爐壓力槽。另外，在不遠處的地面上，一台以三腳架固定的測量儀器也在隨時監視吊車鋼纜的垂直度，並以對講機指揮板車操作人員，移動板車修正偏差。

豎直工作緩慢卻安穩地進行著，一直到下午兩點多總算完成，工作人員將豎直後的反應爐壓力槽稍吊起，好讓板車離開。

下午3：00，板車駛離現場後，反應爐壓力槽坐回原地的墊塊上，才算大功告成。

五、反應爐壓力槽正式吊裝

由於工檢證書的姍姍來遲，使得原訂3月18日的反應爐壓力槽吊裝改到了3月20日。而施工單位也充分利用這一天，積極進行各項準

備工作，包括：拆除爐內循環泵殼支撐、裙板臨時底座螺栓、安裝對心用鋼琴線…等工作。

3月20日，清晨5時許，天邊剛露出一線曙光，在工地吊裝現場早已擺上香案，施工處主任、核四廠長、中鼎公司工地經理與相關工作人員等，一同為稍後的吊裝作業焚香默禱，祈求各路神祇保佑今天風和日麗，任務圓滿達成。誠摯的祈求聲隨著薰香裊裊升上天際…。

上午6:00，準時起吊反應爐壓力槽。隨著反應爐壓力槽底蓋下方的10只爐內循環泵殼漸漸脫離裙板臨時底座，工作人員的情緒也越來越興奮。

約上午9:00，陽光普照，風和日麗，果然是心誠則靈，今天真是個吊裝的好日子。這時，反應爐壓力槽已拉昇到適當高度，準備進行第二個動作－旋轉。

上午11:20，反應爐壓力槽已旋轉到定位，操作人員緩緩減少主吊桿角度以對準安裝中心點。接著開始第三個動作－吊下反應爐壓力槽。

隨著反應爐壓力槽緩緩下降，遠遠望去只見槽內循環泵、槽底、槽身一一隱沒入生物屏蔽牆（Reactor Shield Wall）內，到下午兩點左右，槽身已經有將近一半進入生物屏蔽牆內了。

此時，現場觀禮台附近有些許騷動，大家的目光不約而同地朝同一個方向望去，原來是台電的大家長－董事長蒞臨視察慰勉工作人員，同時董事長也聽取龍門施工處主任的現場簡報，稍事停留後，董事長與陪同的各級長官在緩緩下降的反應爐壓力槽作為背景下拍照留念。之後，一行人才在現場所有人的目送下驅車離開。

而在槽穴下方基座內部，有一群工作人員一面專心監視正逐漸靠近的反應爐壓力槽螺栓孔與基座螺栓，一面不斷以對講機與外面聯繫，報告現況。

為了使基座螺栓能順利套入反應爐壓力槽螺栓孔內，事前必須在基座的120支螺栓中，挑選三支對稱的螺栓，在頂端分別裝上三支長度各不相同的定位梢（Dowel Pin）。在反應爐壓力槽下降過程中，工作人員只要確保反應爐壓力槽螺栓孔能依序套入長、中、短三支定位梢，即可確保其餘的117支螺栓都能順利套入螺栓孔內。

下午約17:30，反應爐壓力槽終於完全定位，吊裝成功。

慢著！事情還沒有結束。

雖然反應爐壓力槽已經完全套入螺栓，但還需要做最後的對心及鎖磅。工作人員利用垂直對心儀監視壓力槽底控制棒中心孔定位器（Target Holder）十字線、爐心測板支撐十字鋼琴線與反應爐壓力槽頂十字鋼琴線三處重疊情況，以決定墊片位置，調整反應爐壓力槽垂直度。對心完成後，再分三段將120只反應爐壓力槽螺帽鎖緊到規定的扭力值。這時候，反應爐壓力槽安裝工作才算圓滿完成。

核四1號機反應爐壓力槽的順利安裝，不僅代表核四建廠工程的重要里程碑，也象徵核能在我國復興的第一道曙光。從國際大環境來看，核能是緩和全球氣候變遷、減少對石油依賴、提升國家競爭力的唯一選擇，核能復興已經是沛然莫之能禦的趨勢。我們不僅見證核四建廠的歷史、更將攜手同心再創國家經濟奇蹟的歷史任務。

（本文作者為核四廠工程師）



挑戰不可能的任務——核四廠出水道工程

■ 編輯室

一、前言

94年2月1日，本刊編輯前往核四廠採訪當天，正值寒流來襲，位於東北角海邊的工地現場，海風凜冽刺骨，比起市區感覺又要冷上好幾度。眼見核四廠相關工程人員似乎不覺得天候特別惡劣，仍全神貫注地在崗位上工作著，不得不佩服他們的敬業精神。直到我們下到地下48.5公尺深、1320公尺長的2號隧道裡，終於看見施工人員，那一張張認眞的臉孔，就是開創台灣工程界「多項第一」的人們。

循環冷卻水出水道工程是核四廠的重大工程之一（圖1），負責核能電廠反應爐機組的冷卻水排放。不同於過去核能電廠冷卻水的排放方式，核四廠改採地下出水隧道方式，將冷卻後的溫水導入排水隧道中，經過海底，到外海約1公里處，再以排水頭將冷卻水排入大海中。藉由海流的快速散熱，降低因海水溫度升高所造成對沿海生態的影響與傷害。



圖1.循環冷卻水出水道工程示意圖

因此，本工程結合了陸上、地下、海上及海下多種的施工技術，來建構此一循環冷卻水出水道工程。如此有效整合不同的施工技術相互配合，以及如何掌握極有限的海上施工期，進行海上施工作業；對應於潛盾工法運用於出水隧道，是本工程得以成功的重要關鍵。

二、主要工程項目

工地主任——榮民工程公司廖銘洋先生爲我們做了精闢的簡報說明，本循環冷卻水出水道工程主要分項工程項目包括：

1. 連接暗渠4條。其結構爲雙孔箱涵，每孔淨空爲4.25x4.25公尺，兩條雙孔箱涵總長約90公尺。
2. 出發井2座。斷面爲圓形，內徑17公尺，淨深約48.5公尺，爲鋼筋混凝土（R.C.）結構。
3. 到達井2座，斷面爲圓形，內徑21公尺，淨深約26公尺。爲特利鋼筋混凝土（S.R.C.）結構，以鋼管板樁爲擋土措施，永久結構爲樁基礎與鋼骨所構成，內部以水中不分離性混凝土塡充。
4. 內徑6.7公尺的隧道2條，每條長約1320公尺。隧道是以潛盾施工法施築，使用直徑8.28公尺潛盾機掘進，開挖斷面53.85平方公尺，開挖後即刻安裝外徑爲8.1公尺，內徑7.3公尺，厚度0.4公尺的預鑄鋼筋混凝土環片，最後再施作0.3公尺厚的二次場鑄鋼筋混凝土襯砌。

5. 排水頭2座。包括(1).2座直徑17.3公尺、高4.5公尺鋼構排水頭及四支噴嘴（內徑直徑3.2公尺），仰角10°。(2).內徑6.7公尺鋼構彎管2支，每1鋼管安裝在1座到達井內，一端與隧道銜接，另一端與上述排水頭連接，周圍以水中不分離混凝土回填。
6. 到達井內澆置回填混凝土及排水頭周圍回填卵石、塊石及預鑄混凝土塊。

三、傲視工程界的特色

本項工程有幾項特色，不僅是國內第一，甚至是國際間首見：

1. 全國第一個單一工程涵蓋地上、地下、海上與海下，是眞正的海底隧道。
2. 工作井完成直徑17公尺，開挖深度53公尺，以傳統開挖方式施工。
3. 使用的潛盾機（圖2）直徑8.28公尺，密閉複合型泥水式機型是目前國內最大斷面的潛盾機。而且兩部潛盾機同時開挖施工，工程規模之大爲國內首見。
4. 隧道中心位於海平面下30公尺。潛盾機在岩盤、剪裂帶、礫層與軟弱地層等複合地層中施工，困難度極高。
5. 到達井位於海上，潛盾機於海中到達與排水頭接合，要求的精準度極高。同時到達井也兼做排水頭的基座。
6. 到達井回填混凝土採用水中不分離性混凝土，連續21天、24小時不間斷持續灌注，總共實積達16,000立方公尺。
7. 於海上施築2座到達井及安裝大口徑排水頭，是國際間罕見的高技術性重大工程。出水道6.7公尺，排水頭17.3公尺，出水口徑達3公尺的4組噴頭（圖4），亦爲全球少見的海中排水出口。

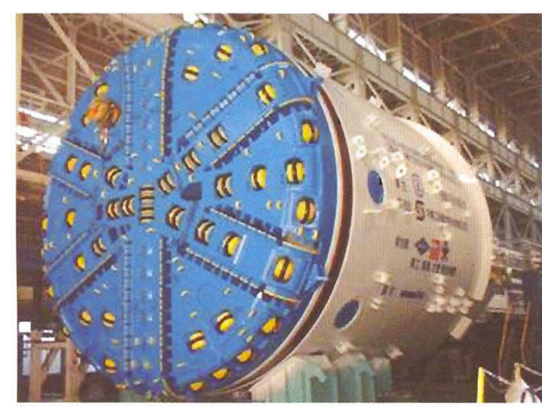


圖2.潛盾機全圖

四、施工沿線地質多變化

爲瞭解循環冷卻水出水道工程沿線的地質概況，施工處於各分項工程施工前先進行補充地質調查鑽探及試驗工作，以探查工區沿線與其附近區域地質構造及地層特性。並配合先前台電已辦理的海上鑽探部分成果與水平長距離鑽探資料進行評估與分析，以獲得隧道沿線地層狀況。同時推測沿線地下地質構造形貌（包含覆蓋層厚度、岩盤深度、或破碎帶位置等），並藉由岩心取樣進行的岩石力學試驗，以瞭解岩層的彈性係數、岩層強度等，以作爲陸上出發井、海底出水隧道及海上到達井施工的參考依據。

廖銘洋主任強調：「整個施工沿線共經歷了沉泥質砂層、沉泥層、礫石層、白色砂岩、灰色砂岩、黑色頁岩、灰色砂岩與頁岩互層等多種地質。潛盾隧道同樣遭遇剪裂帶、嚴重破碎現象，並出現含剪磨泥的剪裂帶的存在，品質並不佳，增加了施工的困難度。」

五、挑戰不可能的任務——海上工程施工

海上工程主要分爲海上到達井及排水頭設置兩部分，爲配合此次出水隧道施工的潛盾機於海中到達，因此必須在海中建構內徑21公

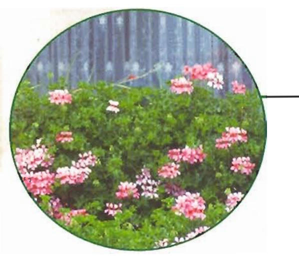



圖3.到達井施工

尺的到達井2座（圖3）。海上施工首先面對的變數爲海象，施工位置位於台灣東北角，海象受東北季風影響甚鉅，因此冬季時海上作業無法進行，適合海上作業的時間只有6個月（約3月中—9月中），期間又有颱風因素影響，可說是跟老天爺搶時間。

當鋼骨結構體定位完成後，在到達井內澆置塡充混凝土。塡充混凝土由龍門核四廠區內的混凝土拌合廠所製造提供的水中不分離混凝土，搬運至海上施工位置的1600噸起重機船上進行澆置等作業。塡充混凝土以特密管澆置，澆置過程是在海面下由潛水夫誘導指揮（圖5）。

六、兼顧環保與效能，煞費苦心

本次工程所使用的水中不分離性混凝土，是在拌合好的混凝土內添加不分離材（UWB）及流動化劑（UWB-M），使混凝土具有在水中直接施工也不會分離，且能保持良好的流動性、塡充性及應有的品質。水中不分離混凝土的特質如下：

- 直接在水中澆置時，不會因爲週遭海水的「沖洗作用」產生分離現象。
- 與一般混凝土於大氣中硬化時的強度相同。
- 良好的流動性、塡充性及符合設計要求的應有品質。
- 能保護鋼材避免腐蝕。
- 幾乎不發生鹽化現象。
- 能提高施工效能。

在海上施工過程中，浚挖、井內開挖及石料拋投等工程會造成海水混濁、機具漏油等問題，常是形成污染的主要原因。又因面臨太平洋洋流及颱風的影響，海浪較高，必須考慮採用移動性佳的擴散防止措施。因此本工程在充分考量海洋污染防止事項下，採用浮筒外框全罩式污濁防止帷幕，以有效抑制污染的擴散。

七、匠心獨具的潛盾隧道工法

本工程是由中興工程公司設計監造，榮民工程公司、鹿島建設株式會社與大豐建設株式會社聯合承攬、施工。出水隧道是採用潛盾工法施工，以2部潛盾機同時施築完成2條內徑6.7公尺、開挖外徑爲8.28公尺、每條約長1320公尺的出水隧道。

由於充分運用自動化、模組化的高科技技術，以監控中心的監視器掌控現場所有狀況，因此隧道內的施工人員通常只有5位，即可發揮最高效能，在預定工期內準時完成。

本次施工採用的潛盾機盾首直徑爲直徑8.28公尺，機身長8.26公尺，爲一密閉複合型泥水加壓式的潛盾機。面對複合地層與海下高水壓下施工，潛盾機須就其施工地質與條件特性，再整備其特殊機能以做因應。

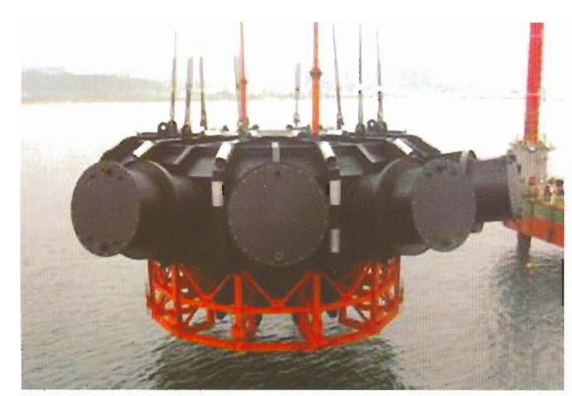

圖4.四噴頭製作吊裝


圖5.水中不分離混凝土澆置

此外，本工程的潛盾隧道工程施工上較特殊之處在於：1.在複合地層施工，2.在海中到達。在岩盤段與非岩盤段的界面上，是本潛盾工程施工上較困難的區段，而潛盾機於海中到達則是本隧道工程另一重大關鍵。

八、結語

在海上吊裝排水肘管（重560噸）與四噴頭（重460噸），大型起重機船團的施工規畫，模組化、精度與海象等的運用組合，在一天之內各組裝兩座重件，實爲海事工程中所僅見。歷經一年半的工期，所累積的大斷面海下複層潛盾隧道施築實務經驗有待時間加以消化、分析、歸納之後，將回饋爲本土化的成果，做爲國內工程領域技術升段的新觀點。

核四廠之所以耗費33億6500萬元工程經費，選擇如此高難度的潛盾式排水道工法，一切只爲了能符合核能電廠溫排水排放標準，使排水口500公尺處海水昇高的溫度低於4℃以下，而能維護貢寮海域的自然生態，爲環境保護做出最大努力。

坐著電動板車離開隧道，一路上看著長度標示牌逐漸向後退去，回頭望向隧道最深處。在不久的將來，所有的機具、人員都將撤出，這裡將灌滿了水，爲核四廠發電運轉提供極大的貢獻。我們能有機會在竣工之前親自得見本工程的艱鉅與偉大，激動之情油然而生，也向堅守崗位、孜孜矻矻的工程人員致上最高的敬意。


圖6.潛盾機與隧道內部



臺灣能不能製造核子武器？

林建昌

多年來，國外媒體三不五時就會把臺灣列入有潛力製造核子武器的國家，這種報導在最近達到最高峰，甚至有所謂「五人小組」之類的說法。自從蔣經國總統時代開始，政府對於這些報導，一貫的回應是：「我們有能力，也有設備，但我們絕不發展、製造核子武器」，似乎很難令人相信。可是這次因為有所謂「恐怖平衡」之說，更令人不得不懷疑臺灣到底在做什麼「碗糕」？相信很多臺灣人都懷疑我們在龍潭的研究所一定有不可告人的秘密。筆者曾經口頭向有關機關建議，我們何不乾脆承認：我們「曾經很想擁有核子武器，但我們還沒有能力發展、製造核子武器」，這樣說的話人家容易相信，但是政府官員總是要為自己保留一點面子，不能說得這麼白。最近主管機關網站有一個公告，寫了一大篇來澄清過去並未進行鈽分離實驗。筆者認為既然我們已經沒有什麼秘密，不妨公開說明到底製造核子武器有什麼困難。

說實在的，製造原子彈在理論上不難，甚至早期原子彈的設計圖在美國一般的百科全書裡都找得到，但是要實際做起來並不簡單。請看下面幾點簡略的說明：

1. 首先是原料的取得。原子彈的原料有兩種，鈾(U-235)與鈽(Pu-239)，廣島的第一顆是鈾彈，而長崎的第二顆是鈽彈。鈽的取得比鈾235(U-235)來得容易，因為它可以從使用過的核子燃料提鍊取得。筆者恩師歐亞哲(Arthur Wahl)教授在二次大戰期間，以一個博士研究生，首度分離出鈽239(Pu-239)，並發現它的核分裂特性。這個重要的發現當時是絕對的秘密，美國的「曼哈頓計畫」即利用用過核子燃料，在3、4年內就分離、提鍊出足夠的鈽，製造所謂的鈽彈。不過要用幾十噸放射性超強的用過核子燃料提鍊足夠的鈽(含量大約有1 %)，談何容易，弄不好要出人命的。
2. 目前核能電廠的用過核子燃料貯存在電廠燃料池裡，國際原子能總署在池邊設有監視器，誰也動不了這些燃料束，除非臺灣準備停止核能電廠的運轉，那當然是不可能的事。
3. 再說，就算我們有原料，還要有核彈的引爆設計。要把所需要的材料組裝成可以引起核爆的裝置，才是最困難的一關。目前可以用電腦設計，而這種軟體只要花錢或許可以由秘密管道獲得，但真正需要自已動手的精密機械組裝，恐怕需要很大的工夫，因為引爆裝置的設計，絕不能有絲毫差錯，否則就激發不起核爆，參見附圖。
4. 核彈的引爆，並不是如一般核子反應器（原子爐）用簡單的中子源來點燃爐心燃料，而是利用超強的火藥引爆，在瞬間激發中子與原料的核子分裂鏈鎖反應，核爆的時間大約只有百萬分之一秒。研發這種火藥可能不難，只要有錢甚至也可能經由秘密管道獲得。據說最近美軍在伊拉克遺失的380噸爆炸物，就是可以用來引爆原子彈的火藥，怪不得美軍特別關切。
5. 把所有的材料組裝之後，必需試爆，測試

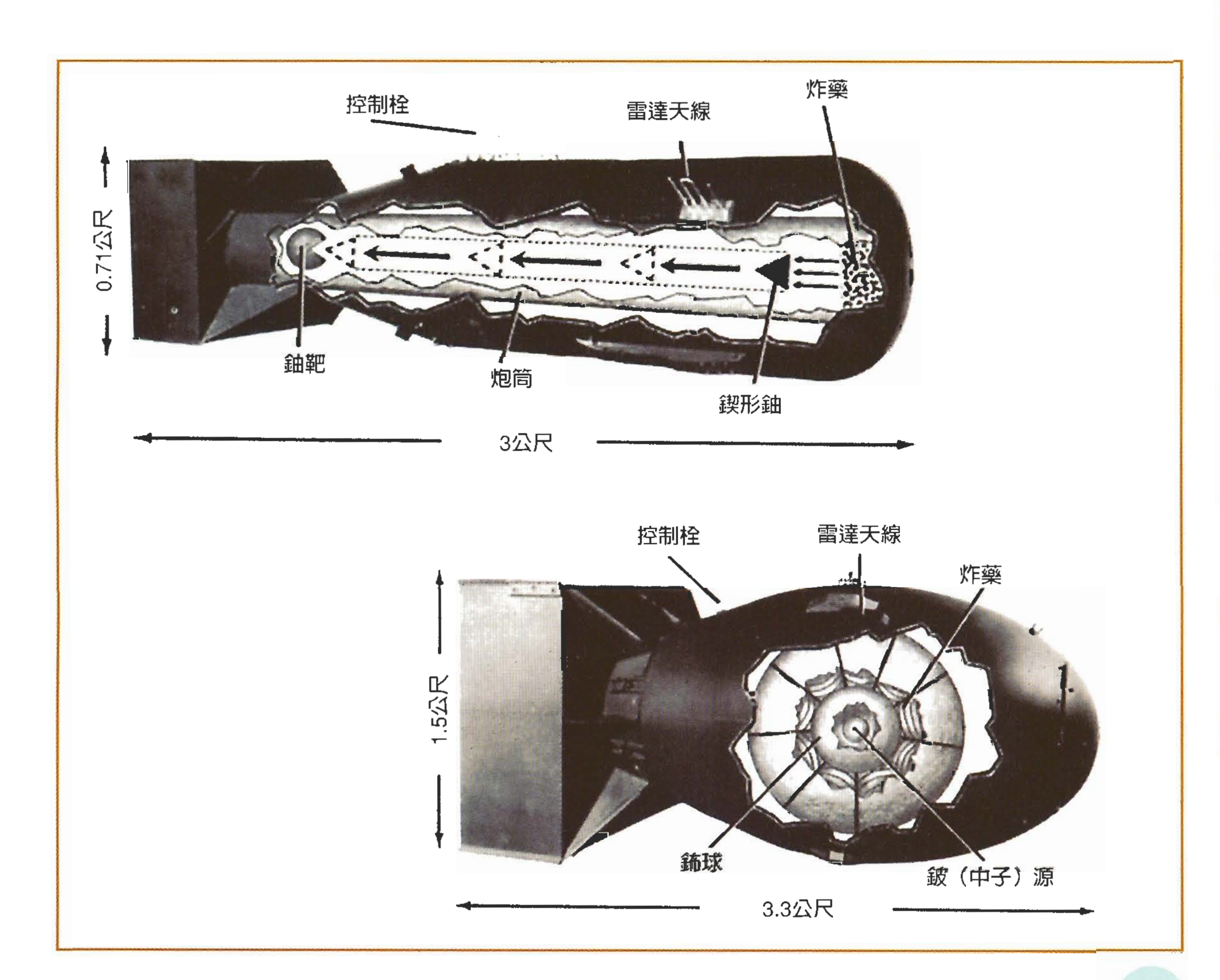
引爆裝置的設計，否則投出去的炸彈，爆不起來或只爆出來普通炸彈的威力，那才是笑話。據說投擲日本的原子彈威力相當於大約十幾萬噸的TNT炸藥，但只是理論估計不到10 %的效率，這也是為什麼已經擁有核子武器的強國，還在不斷的核子試爆。不管是原子彈或氫彈，他們一直在改善、精進裝置的設計，提升核爆的效率或發展更輕型的核武。我們有沒有地方試爆？答案很明顯的是：沒有。據說日本曾經評估研發核武的可行性，結論是日本沒有試爆的地方而作罷。

筆者的結論是，臺灣是不可能製造原子彈的。我們不能像印度與巴基斯坦一樣，在兩邊恐怖平衡狀況下，每天緊張的擔心什麼時候相互毀滅的那一刻會到來。

(本文作者為退休核能專家，曾任原能會顧問)

原子彈結構：上圖為投擲廣島的鈾彈，下圖為投擲長崎的鈽彈

(取材自：The World Book Encyclopedia(1976), Volume 1 "A", p.845Field Enterprises Educational Corporation Chicago, IL 60658)





法國南部的陽光與沃土造就了密赫布（Mirabeau）的葡萄園與美酒，分佈法國南部的核能設施並未對當地環境造成不良影響。（法國COGEMA公司提供）